

Tema: Ligações: concepção, projeto e elementos de fixação.

## DIMENSIONAMENTO DE BASE DE PILARES METÁLICOS EM SEÇÕES RETANGULARES E CIRCULARES

Amanda Magalhães Bahia<sup>1</sup>  
Isamu Ikeda Junior<sup>2</sup>

### Resumo

As placas bases de pilares metálicos, são o principal vínculo estrutural do pilar com a fundação pois o comportamento estrutural de uma edificação é determinado pelo tipo de placa empregada. A ABNT 8800:2008 não aborda o dimensionamento dessas ligações, determinando que este deve ser feito de acordo com Fisher e Kloiber (2006). Este artigo demonstra um método de dimensionamento das ligações entre pilares de seções tubulares (retangulares e circulares) e as fundações. Os elementos dimensionados nesta pesquisa são: chapa de base, chumbadores e solda, determinados para situações de pequena, média e grande excentricidade. A partir do roteiro de cálculo apresentado, os procedimentos de dimensionamento foram implementados a um programa computacional Microsoft Visual Basic 2012 e comparados com exemplos da literatura.

**Palavras-chave:** Base de pilares metálicos; Estruturas metálicas; Ligações tubulares; Análise estrutural.

## DESIGN OF COLUMN STEEL BASE PLATE IN SECTIONS RECTANGULAR AND CIRCULAR

### Abstract

Base plates of metal columns, are the main structural link, between columns and foundations behavior their determined by the type of base employed. ABNT 8800: 2008 does not address the design, determining that this should be done according to Fisher and Kloiber (2006). This article demonstrates a sizing method of the links between pillars of tubular sections (rectangular and circular). The elements dimensioned in this research are: base plate, bolts and welding, for of small, medium and large load eccentricity. Implemented in a computer program Microsoft Visual Basic 2012 and compared with literature examples.

**Keywords:** Base plate; Steel structures; Tubular connections; Structural Analysis.

<sup>1</sup> Engenheira Civil, Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Civil, Doutor, Professor do Departamento de Estruturas da Universidade Salvador, Salvador, Bahia, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda de empreendimentos de grande porte, a exemplo de pontes e viadutos, o Brasil reconhece a necessidade de empregar novos materiais e sistemas construtivos.

Uma das tecnologias atuais que atende a novos e melhores critérios de construção são as estruturas metálicas, pois apresentam algumas vantagens quando comparada a outras soluções estruturais. Segundo o Centro Brasileiro da Construção em Aço (2014) algumas características significativas desse método são: maior área útil, compatibilidade com outros materiais, menor prazo de execução, alívio de carga nas fundações e liberdade arquitetônica. Esse último fator, descreve uma flexibilidade do uso do material que é fornecido em diversos formatos permitindo que as construções tenham inúmeras formas, curvas e elementos assimétricos, utilizando os mais variados perfis como os de seções em tubo. Conforme MEYER(2002) o emprego das seções tubulares está cada vez mais comum, principalmente em elementos de passarelas e pontes.

Contudo, A ABNT NBR8800:2008 – Projeto e execução de estruturas de aço e estruturas mistas aço e concreto em edifícios, não contempla todas as demandas criativas dos projetos, principalmente nos aspectos de dimensionamento das ligações desses elementos. Assim, este trabalho tem como objetivo analisar os principais critérios de cálculo das ligações de base de pilares, através de estudo bibliográfico, aplicar as informações e as normativas aos perfis tubulares considerando forças estáticas (momento fletor, força cortante e força axial) e ilustrar através de cálculos as resistências obtidas nessas uniões para assim, desenvolver um mecanismo automatizado de dimensionamento.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho consiste em uma revisão bibliográfica das principais literaturas sobre o dimensionamento de base de pilares metálicos e a aplicação dessas normativas em um aplicativo de cálculo.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ligação ideal, entre os pilares de aço à fundação em concreto armado é feita por uma chapa metálica, soldada ao perfil de aço e conectada a fundação por meio de chumbadores (barras rosqueadas). Estas ligações são utilizadas na interface aço-concreto entre os pilares e suas fundações, cuja função principal é de transmissão dos esforços das estruturas para a fundação. Nesta pesquisa essas ligações são divididas em três tipos, conforme as figuras 01, 02 e 03.

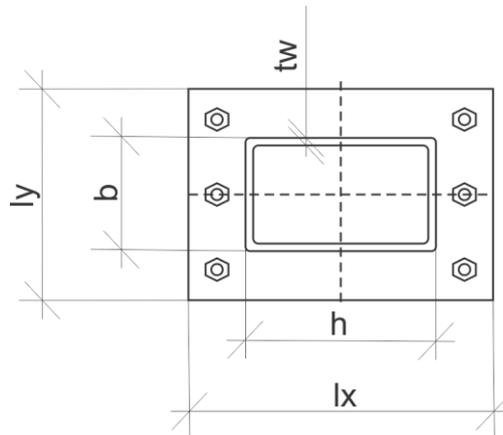


Figura 01 – Base retangular para pilar metálico de seção retangular

Fonte: PIMENTA, Roberval; et al (2010) - Adaptado

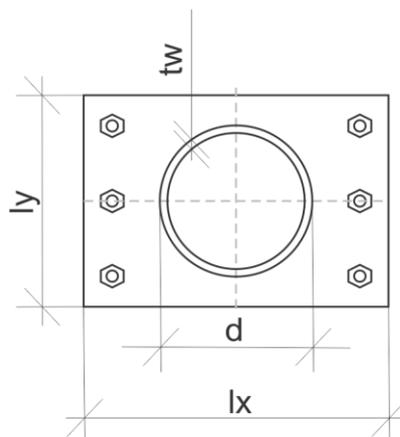


Figura 02 – Base retangular para pilar metálico de seção circular

Fonte: PIMENTA, Roberval; et al (2010) - Adaptado

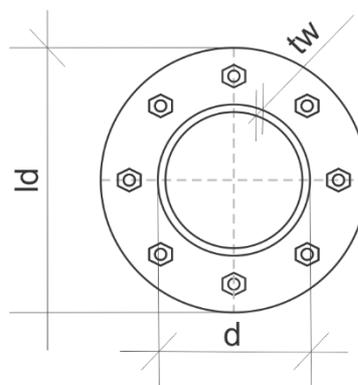


Figura 03 – Base circular para pilar metálico de seção circular

Fonte: PIMENTA, Roberval; et al (2010) - Adaptado

Dependendo da situação de projeto, variações do tipo de seção podem ser utilizadas como solução estrutural, a exemplo de seções quadradas e de composição de perfis modelo U ou U enrijecido. Para contemplar essas possíveis escolhas dos projetistas, também foram inseridos essas opções utilizando a mesma rotina de cálculo das seções retangulares. As figuras 04 e 05 ilustram estes tipos de seções e suas placas de base.

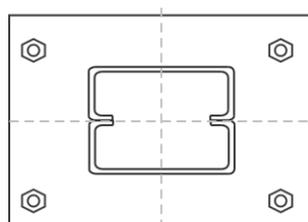


Figura 04 – Base circular para pilar metálico de seção duplo U enrijecido

Fonte: Autora

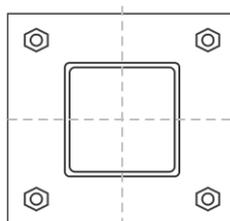


Figura 05 – Base quadrada para pilar metálico de seção quadrada

Fonte: Autora

Os pilares metálicos são submetidos a esforços oriundos da análise estrutural que deve ser feita conforme a ABNT NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios e a ABNT NBR 6120:1980 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações; devendo possuir resistência maior que as solicitações. Segundo PIMENTA, et al (2010), essas ligações devem atender aos seguintes estados limites últimos: formação de charneira plástica na placa de base, ruptura por tração no chumbador, arrancamento do chumbador, esmagamento do concreto ou argamassa, deslizamento da ligação e ruptura da solda na ligação.

Para determinar os esforços resistentes da ligação, respeitando os estados limites, é necessário inicialmente caracterizar o tipo de ligação. Segundo PFEIL, Walter et al (2008) as bases de pilares podem ser classificadas em duas categorias:

- I. Bases destinadas a transferir à fundação forças de horizontais e verticais: nesse caso, a ligação é considerada rotulada.
- II. Bases para a transferência de momento à fundação além de forças verticais e horizontais: devido a ação do momento, existe excentricidade na peça.

Para determinar a rigidez da ligação e classificá-la, deve-se avaliar os esforços solicitantes: esforço cortante, momento fletor e esforço normal que pode ser de tração (Figura 06) ou de compressão (Figura 07).

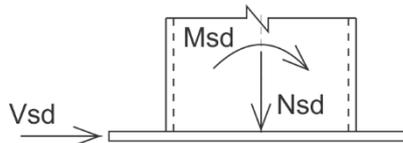


Figura 06 – Solicitações provenientes da estrutura com esforço normal de compressão

Fonte: Autora

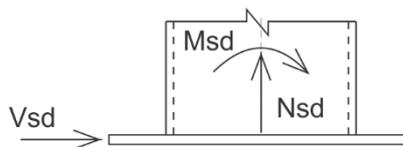


Figura 07 – Solicitações provenientes da estrutura com esforço normal de tração

Fonte: Autora

Essa classificação de rigidez é feita segundo PIMENTA, et al (2010) pela excentricidade que pode ser obtida através da seguinte equação:

$$e = \frac{Msd (kN.cm)}{Vsd (kN)} \quad (01)$$

### 3.1 Avaliação da excentricidade

O valor da excentricidade, demonstra se o ponto teórico da aplicação da força normal coincide ou não com o centro de gravidade da seção transversal do pilar, quanto maior o valor da excentricidade, mais afastado do centro de gravidade da seção transversal será a aplicação da força normal. A análise da excentricidade é diferente para as situações de tração e de compressão. Em peças comprimidas, caso a excentricidade seja pequena, pode-se utilizar ancoragens construtivas. Se a excentricidade for grande, não é possível considerar uma distribuição contínua de tensões, assim, a resultante de tração é absorvida pelos chumbadores. Para as peças tracionadas, os chumbadores sempre serão solicitados, independente da excentricidade. Com base PIMENTA, et al (2010), o comportamento da ligação se encaixará em um dos três casos:

3.1.1. Caso 01: não existe a aplicação de momento fletor. Acontece quando a excentricidade ( $e$ ) é nula.

$$e = 0$$

Nesse caso, a pressão de contato distribui-se uniformemente sobre a placa de base (Figuras 08 e 09).

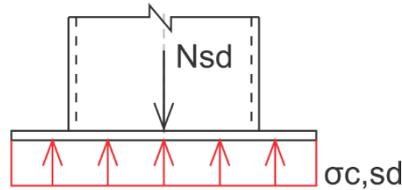


Figura 08 – Situação caso 01 solicitado a esforço de compressão

Fonte: PIMENTA, Roberval; et al (2010) - Adaptado

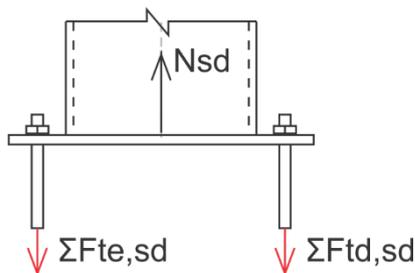


Figura 09 – Situação caso 01 solicitado a esforço de tração

Fonte: PIMENTA, Roberval; et al (2010) – Adaptado

3.1.2 Caso 02: a situação é de pequena excentricidade, o equilíbrio do vínculo é possível sem a introdução de forças de tração nos chumbadores (Figuras 10 e 11).

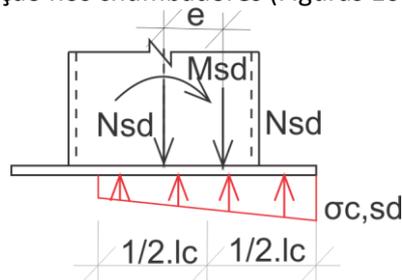


Figura 10 - Situação caso 02 solicitado a esforço de compressão

Fonte: PIMENTA, Roberval; et al (2010) - Adaptado

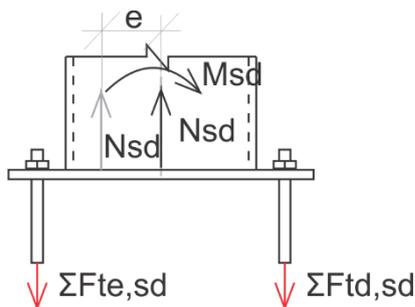


Figura 11 - Situação caso 02 solicitado a esforço de tração

Fonte: PIMENTA, Roberval; et al (2010) – Adaptado

Os intervalos determinantes do caso 02 são diferentes para os casos de tração e de compressão. Para a situação de tração, a ligação se encontra no caso 02 se:

$$0 < e \leq a$$

Considerando:

$a$  - Distância entre o centro do pilar e o centro do chumbador, no eixo de aplicação da força conforme a figura 12.

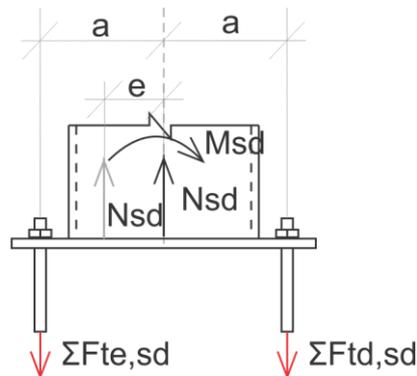


Figura 12 – Distância entre o eixo dos chumbadores e o centro da placa.

Fonte: PIMENTA, Roberval; et al (2010) – Adaptado

Quando a força aplicada for de compressão o limitante do caso 02 é:

$$0 < e \leq \frac{1}{2} \cdot \left( l_x(\text{mm}) - \frac{N_{sd}(\text{kN})}{\sigma_{c,Rd}(\text{kN/cm}^2) \cdot l_y(\text{mm})} \right) \quad (02)$$

Considerando:

$l_x$  – Maior dimensão da placa de base

$l_y$  – Menor dimensão da placa de base

$N_{sd}$  – Solicitação normal da placa

$\sigma_{c,Rd}$  – Tensão resistente de compressão do concreto, obtida pela equação:

$$\sigma_{c,Rd} = \frac{f_{ck}(\text{kN/cm}^2)}{\gamma_c \cdot \gamma_s} \cdot \sqrt{\frac{A_2(\text{cm}^2)}{A_1(\text{cm}^2)}} \quad (03)$$

$f_{ck}$  – Resistência característica do concreto a compressão (kN/cm<sup>2</sup>)

A1 – Área da base

A2 – Área máxima da base que recebe e distribui os esforços

Segundo FISHER, James et al (2006), a abordagem mais direta e conservadora para o dimensionamento das bases considera-se  $A1=A2$ . Este dado, geralmente resulta em dimensões maiores das chapas de base, contudo, por estar a favor da segurança, em todos os cálculos desenvolvidos nesta pesquisa foi adotado inicialmente essa consideração.

3.1.3 Caso 03: ocorre grande excentricidade, logo é necessário considerar forças de tração nos chumbadores (Figura 13 e 14).

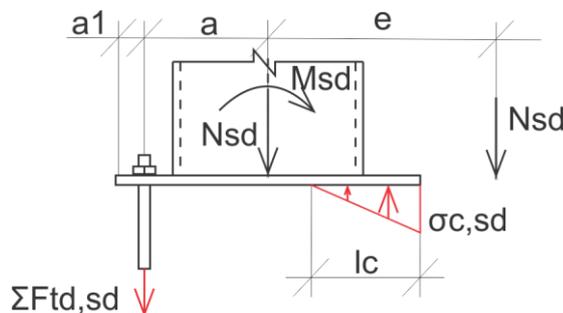


Figura 13 - Situação caso 03 solicitada a esforço de compressão

Fonte: PIMENTA, Roberval; et al (2010) - Adaptado

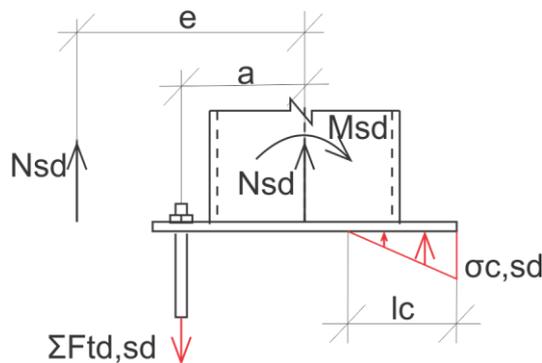


Figura 14 - Situação caso 03 solicitada a esforço de tração

Fonte: PIMENTA, Roberval; et al (2010) - Adaptado

Limitante na situação de força de tração:

$$e > a$$

Limitante na situação de força de compressão:

$$e > \frac{1}{2} \cdot \left( lx(mm) - \frac{Nsd(kN)}{\sigma_c, Rd(kN/cm^2) \cdot ly(mm)} \right)$$

### 3.2 Dimensionamento Chumbadores

Outros dados necessários são as características dos chumbadores. Segundo BELLEI, Ildony (2006), chumbadores são barras que tem por finalidade fixar as placas de base dos pilares as fundações e podem ser dimensionados para as seguintes formas: a cisalhamento, a tração e a tração com cisalhamento. FISHER, James et al (2006) recomenda os seguintes diâmetros padrões para chumbadores (Tabela 01).

Diâmetro chumbador (polegadas)	Diâmetro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )
3/4"	1,9	2,835
7/8"	2,22	3,801
1"	2,54	5,067
1.1/4"	3,17	7,892
1.1/2"	3,81	11,401
1.3/4"	4,44	15,483
2"	5,08	20,268
2.1/2"	6,35	31,669

Tabela 01 – Características do chumbador

Fonte: Elaborada pela autora

Através do método AISC-ASD a força de tração no chumbador é dada por:

$$T = nb \cdot A_{chu}(cm^2) \cdot f_t(kN/cm^2) \quad (04)$$

Onde:

$nb$  – número de chumbadores

$$f_t = 0,38 \cdot f_u(kN/cm^2) \quad (05)$$

$f_u$  – limite de ruptura do material aço. Os principais tipos de aço e seus limites de escoamento e ruptura estão registrados na tabela 02.

Tipo de Aço	Fy (kN/cm <sup>2</sup> )	Fu (kN/cm <sup>2</sup> )
SAE 1020	24,0	38,7
ASTM A36	25,0	40,0

Tabela 02 – Limites de escoamento e ruptura dos aços SAE 1020 e ASTM A36  
Fonte: BELLEI, Ildony (2006)

**Achu**- área do chumbador

Os comprimentos dos chumbadores de acordo com FISHER, James et al (2006), são calculados em duas etapas :  $lc$  e  $lh$ , representados na figura 15.

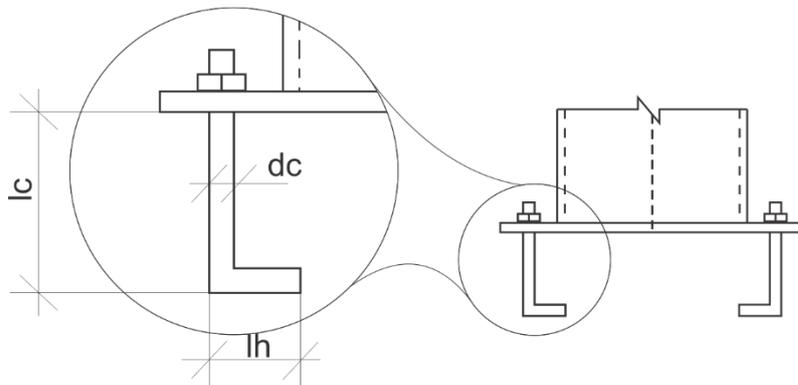


Figura 15 – Dimensões do chumbador formado com extremidade inferior a 90

Fonte: Elaborada pela autora

$$lh = \frac{1,7 \cdot T(kN)}{1,4 \cdot fck(kN/cm^2) \cdot dc(cm)} \quad (06)$$

Onde:

$fck$  - Resistência característica do concreto a compressão

$dc$  – Diâmetro do chumbador (Figura 13)

A dimensão  $lc$  segundo BELLEI, Ildony (2006), assim como o espaçamento entre chumbadores, deve ser determinado em função do material seguindo a tabela 03.

Tipos de aço	Comprimento Lc	Distância entre chumbadores
SAE 1020 ASTM A36	12. <i>dc</i>	5. <i>dc</i> $\geq$ 100mm
ASTM A325	17. <i>dc</i>	7. <i>dc</i> $\geq$ 100mm

Tabela 03 – Comprimentos e distâncias mínimas dos chumbadores

Fonte: BELLEI, Ildony (2006)

### 3.3 Dimensões placa de base

As dimensões da placa de base são determinadas para que o estado limite ultimo do esmagamento do concreto não seja atingido, para isso analisa-se a tensão resistente do concreto na região de contato entre a fundação e a placa de base. Para determinar as dimensões, deve-se considerar as distâncias e quantidades dos chumbadores. Segundo Safety Standards for Steel Erection (OSHA, 2001) o número mínimo de chumbadores deve ser quatro garantir a estabilidade durante a montagem, considerando cargas atuando sobre o pilar como por exemplo um trabalhador. Este requisito, excluiu desta pesquisa detalhe de bases com dois chumbadores.

Depois de determinar o diâmetro do chumbador, deve-se avaliar os espaçamentos entre furos e entre chumbador/pilar. A ABNT – NBR 8800:2008 determina distâncias mínimas entre os furos e as bordas das chapas em função do diâmetro dos parafusos, para situações de ligação puramente metálicas, sem a participação de elementos de concreto armado, como seria o caso da fixação do chumbador, entretanto, foi considerado neste estudo essas medidas, de forma a fazer comparativo entre os espaçamentos das normas. As considerações da norma brasileira podem ser vistas na tabela 04.

Diâmetro ( <i>dc</i> )		Distância mínima do centro do furo a borda (mm) a1
Polegadas	Milímetros	
¾"	19	27
7/8"	22.2	31
1"	25.4	32
1.1/4"	31.7	46
1.1/2"	38.1	1.25*dc
1.3/4"	44.4	1.25*dc
2"	50.8	1.25*dc
2.1/2"	63.5	1.25*dc

Tabela 04 – Distância mínima do centro do fura a borda

Fonte: ABNT – NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto em edifícios (2008) – Adaptado

Para os espaçamentos entre chumbadores, foi considerada distância mínimo de cinco vezes o diâmetro do chumbador no caso do material do chumbador empregado for o aço SAE 1020 e sete vezes o diâmetro do chumbador caso o material for o aço ASTM A36.

Como no anexo S.2. da ABNT NBR 8800, cita como referência principal o Design Guides pra dimensionamento das bases de pilares, foi incluso no programa os espaçamentos considerados nesta norma descritos na tabela 05.

Diâmetro ( <i>dc</i> )		Distância mínima do centro do furo a borda (mm) a1	Distância mínima entre furos (mm) a2
Polegadas	Milímetros		
¾"	19	40	80
7/8"	22.2	45	90
1"	25.4	50	100
1.1/4"	31.7	65	130
1.1/2"	38.1	80	160
1.3/4"	44.4	90	180
2"	50.8	100	200
2.1/2"	63.5	100	200

Tabela 05 – Distância mínima do centro do furo a borda

Fonte: Fisher, J. M. & Klaiber, L.A. (2006). Base plate and anchor rod design. Steel Design Guide 1, 2a edição, American Institute of Steel Construction, Chicago – Adaptado.

Assim, através dos espaçamentos, as dimensões da placa de base podem ser obtidas pelas seguintes equações determinadas por PIMENTA, Roberval; et al (2010):

Pilar metálico de seção retangular e base de seção retangular:

$$l_x = h(mm) + 4. a1(mm) \quad (07)$$

$$l_y = (0,5. nb - 1). a2(mm) + 2. a1(mm) \quad (08)$$

Onde:

*nb* – número total de chumbadores

*a2* – distância mínima entre dois chumbadores determinado na Tabela 03.

*dc* – diâmetro do chumbador

Pilar metálico de seção circular e base de seção retangular

$$l_x = d(mm) + 4. a1(mm) \quad (09)$$

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

$$l_y = (0,5 \cdot n_b - 1) \cdot a_2(mm) + 2 \cdot a_1(mm) \quad (10)$$

Pilar metálico de seção circular e base de seção circular

$$l_d = d(mm) + 4 \cdot a_1(mm) \quad (11)$$

### 3.4 Espessura chapa de base

A espessura da chapa de base é feita de acordo com o limite de escoamento do aço. Deve-se ser dimensionada de forma a evitar a formação de charneira plástica no Estado limite último (ELU), de acordo com PIMENTA, Roberval; et al (2010) tem-se.

Para o caso onde  $e = 0$ , em peça submetidas a compressão:

$$t_{pmin} = l_{max}(mm) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_c, sd(kN/mm^2)}{\frac{f_y(Mpa)}{\gamma_{a1}}}} \quad (12)$$

Onde:

$l_{max}$  - Maior valor entre  $m$  e  $n$ .

Para seções retangulares:

$$m = \frac{l_x(mm) - 0,95 \cdot h(mm)}{2} \quad (13)$$

$$n = \frac{l_y(mm) - 0,95 \cdot b(mm)}{2} \quad (14)$$

Para seções circulares:

$$m = \frac{l_x(mm) - 0,80 \cdot d(mm)}{2} = mm \quad (15)$$

$$n = \frac{l_y - 0,80 \cdot d(mm)}{2} = mm \quad (16)$$

$$\sigma_c, sd = \frac{Nsd(kN)}{l_x(mm) \cdot l_y(mm)} = kN/mm^2 \quad (17)$$

Para o caso onde  $e = 0$ , em peças submetidas a tração:

$$t_{pmin} = \sqrt{\frac{2 \cdot nb \cdot F_{tsd} (kN) \cdot (meq (mm) - a1 (mm))}{lyeq (mm) \cdot \left(\frac{fy (Mpa)}{\gamma a1}\right)}} \quad (18)$$

Onde:

$$F_{tsd} = \frac{N_{sd} (kN)}{nb} = kN \quad (19)$$

$$meq = \frac{ld (mm) - 0,80 \cdot d (mm)}{2} = mm \quad (20)$$

$$lyeq = nb \cdot (db (mm) + m (mm) - a1 (mm)) \leq 0,90 \cdot ld \quad (21)$$

Para o caso onde  $0 < e \leq \frac{1}{2} \cdot \left( lx - \frac{N_{sd}}{\sigma_{c,Rd} \cdot ly} \right)$ , em peça submetidas a compressão:

$$t_{pmin} = l_{max} (mm) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_{c, sd} (kN/mm^2)}{\frac{fy (Mpa)}{\gamma a1}}} \quad (22)$$

Onde:

$l_{max}$  deve ser tomado igual a:

Se  $lc \geq m$ , o maior valor entre m e n

Se  $lc < m$ , o maior valor entre p e n

Sendo:

$$lc = lx (mm) - 2 \cdot e (mm) = mm \quad (23)$$

$$p = \sqrt{lc (mm) \cdot (2m (mm) - lc (mm))} = mm \quad (24)$$

Para o caso onde  $0 < e \leq a$ , em peças submetidas a tração:

$$t_{pmin} = \sqrt{\frac{2 \cdot nb \cdot F_{tsd} (kN) \cdot (meq (mm) - a1 (mm))}{lyeq (mm) \cdot \left(\frac{fy (Mpa)}{\gamma a1}\right)}} \quad (25)$$

Onde:

$$F_{tsd} = \frac{N_{sd}(kN)}{nb} + \frac{M_{sd}(kN.cm)}{a(mm).nbeq} \quad (26)$$

$$m_{eq} = \frac{ld(mm) - 0,80.d(mm)}{2} \quad (27)$$

$$l_{yeq} = nb.(db(mm) + m(mm) - a1(mm)) \leq 0,90.ld \quad (28)$$

Considerando:

$$lc = lx(mm) - 2.e(mm) = mm \quad (29)$$

$$\alpha = 1 \text{ se } lc \leq 2.a1$$

$$\alpha = \frac{d+2.a1}{d+3.a1-0.5lc} \text{ se } lc > 2.a1$$

$$k = \frac{\alpha}{2} \cdot \left[ 1 - \cos\left(\frac{2\pi}{nb}\right) \right] \quad (30)$$

$$nbeq = 2.[1 + 2.(1 - k)^2] \quad (31)$$

Para o caso onde  $e > \frac{1}{2} \cdot \left( lx - \frac{N_{sd}}{\sigma_{c,Rd.ly}} \right)$ , em peças submetidas a compressão:

$$db, \min = \sqrt{\frac{4.Ft, sd}{\pi \cdot \frac{f_{ub}}{\gamma a^2}}} \quad (32)$$

$$lc = \left( \frac{lx}{2} + a \right) - \sqrt{\left( \frac{lx}{2} + a \right)^2 - \frac{2.N_{sd}(e + a)}{\sigma_{c, sd.ly}}} \quad (33)$$

Onde  $l_{max}$  deve ser tomado igual a:  
Se  $l_c \geq m$ , o maior valor entre  $m$  e  $n$   
Se  $l_c < m$ , o maior valor entre  $p$  e  $n$

$$t_{pmin1} = l_{max} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_c \cdot s_d \left( \frac{kN}{mm^2} \right)}{\left( \frac{f_y}{\gamma a_1} \right)}} \quad (34)$$

$$t_{pmin2} = l_{max} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot n_{beq} \cdot F_{tsd} \cdot (m_{eq} - a_1)}{l_{yeq} \cdot \left( \frac{f_y}{\gamma a_1} \right)}} \quad (35)$$

O valor final da espessura deve ser o maior valor entre  $t_{pmin1}$  e  $t_{pmin2}$

Para o caso onde  $e > a$ , em peças submetidas a tração:

$$d_{b, \min} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_t \cdot s_d}{\pi \cdot \frac{f_{ub}}{\gamma a_2}}} \quad (36)$$

$$l_c = \left( \frac{l_x}{2} + a \right) - \sqrt{\left( \frac{l_x}{2} + a \right)^2 - \frac{2 \cdot N_{sd} \cdot (e - a)}{\sigma_c \cdot s_d \cdot l_y}} \quad (37)$$

Onde  $l_{max}$  deve ser tomado igual a:  
Se  $l_c \geq m$ , o maior valor entre  $m$  e  $n$   
Se  $l_c < m$ , o maior valor entre  $p$  e  $n$

$$t_{pmin1} = l_{max} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_c \cdot s_d \left( \frac{kN}{mm^2} \right)}{\left( \frac{f_y}{\gamma a_1} \right)}} \quad (38)$$

$$t_{pmin2} = l_{max} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot n_{beq} \cdot F_{tsd} \cdot (m_{eq} - a_1)}{l_{yeq} \cdot \left( \frac{f_y}{\gamma a_1} \right)}} \quad (39)$$

### 3.5 Esforços resistentes

O valor do esforço cortante resistente será obtido a partir dos dados geométricos da chapa de base. Pode ser calculado pela equação:

$$V_{rd} = \sigma_{c,rd} \left( \frac{kN}{mm^2} \right) \cdot l_c(mm) \cdot l_y(mm) \cdot \mu < 0,20 \cdot f_{ck} \cdot l_x \cdot l_y \quad (40)$$

Onde  $\mu = 0,55$ .

O esforço normal resistente dado em função da resistência do chumbador.

$$N_{rd} = n_b \cdot \frac{0,4 \cdot d \cdot ch(cm^2) \cdot f_{uch} \left( \frac{kN}{cm^2} \right)}{1,35} \quad (41)$$

### 3.6 Dimensionamento da Solda

Segundo PFEIL(2013), Walter a solda é um tipo de união por coalescência do material, obtida por fusão de partes adjacentes. São utilizados eletrodos por arco voltaico de varas de aço-carbono ou aço de baixa liga. Os principais tipos de eletrodos empregados na indústria segundo o autor são:

$$E60 = f_w = 41,5 \frac{kN}{mm^2}$$

$$E70 = f_w = 48,5 \frac{kN}{mm^2}$$

Para esta pesquisa, foi considerada o uso de soldas filetes devido a ter uma execução simplificada em relação as demais, pois não necessita de recortes nas chapas e nos perfis. As soldas são executadas ao redor de toda o perfil, conforme Figura 16.

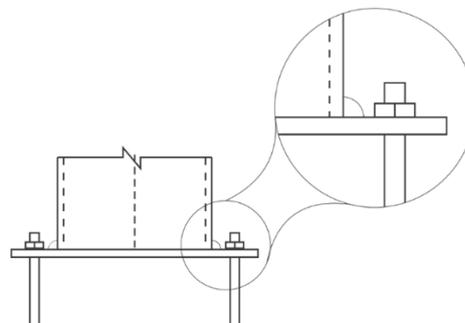


Figura 16 – Detalhe da solda tipo filete

Fonte: Autora

A determinação e nomenclatura da solda ocorre em função dos comprimentos dos seus lados conforme a figura 15. Assim, o lado  $b$  designa filete de dois lados iguais com dimensões  $b$ . Enquanto a garganta do filete, representada na figura 17 pela incógnita  $t$  caracteriza a espessura mais desfavorável da solda.

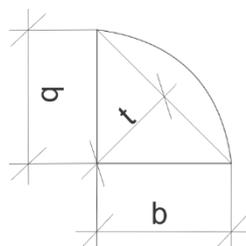


Figura 17 – Dimensões da solda

Fonte: Autora

Para a determinação da espessura do filete, deve-se determinar inicialmente a área efetiva de cálculo:

$$A_w = 0,70 \cdot t(\text{mm}) \cdot l(\text{mm}) \quad (42)$$

Onde:

$l$  – comprimento efetivo. Para seções retangulares, será desconsiderado os retornos de extremidade, devido a peça poder sofrer esforços axiais. O Comprimento efetivo então é dado por:

$$l = [2 \cdot b(\text{mm}) + 2 \cdot h(\text{mm}) - 8 \cdot t_w(\text{mm})] \quad (43)$$

Para as seções circulares:

$$l = 2 \cdot \pi \cdot \frac{d(\text{mm})}{2} \quad (44)$$

Contudo, devido a processos de execução não as espessuras efetivas segundo PFEIL, Walter (2013) devem ser minoradas:

$$b \leq 10\text{mm} \rightarrow t_e = b$$

$$b > 10\text{mm} \rightarrow t_e = t + 3\text{mm}$$

Outra determinação segundo a NBR 8800(2008) é de aplicar um fator de redução  $\beta$  quando a solda for muito longa ( $l > 100 \cdot b$ ), para que assim, seja levado em conta a não uniformidade na distribuição de tensões. O valor de  $\beta$  é dado pela equação:

$$\beta = 1,2 - 0,002 \frac{L(\text{mm})}{b(\text{mm})} \quad (45)$$

Sendo que  $0,60 < \beta \leq 1,0$ .

A determinação da resistência é feita pelo estado limite de ruptura do metal da solda, considerando a transferência de esforços de uma chapa para outra por cisalhamento através da garganta da solda. A força resistente é obtida em:

$$R_d = A_w(\text{mm}^2) \cdot [0,60 \cdot f_w \left( \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \right)] / \gamma_w 2 \quad (46)$$

A norma determina as dimensões mínimas do filete de maneira a evitar o resfriamento brusco da solda por condução de calor, garantindo a fusão dos materiais e evitando a ocorrência de fraturas a frio e distorções. Essas dimensões são dadas em função da espessura da chapa de base e está registrada na tabela 06.

Espessura da chapa mais fina (mm)	Perna do Filete ( <i>bmín</i> )
até 6,3	3mm
6,3 – 12,5	5mm
12,5-19	6mm
> 19	8mm

Tabela 06 – Dimensões mínimas de filetes de Solda  
Fonte: ANBT - NBR 8800 (2008)

### 3.7 Implementação computacional

A linguagem utilizada foi o Visual Studio 2013. A descrição das etapas do programa estão descritas no fluxograma apresentado na figura 18.



Figura 18 – Fluxograma de funcionamento do programa computacional  
Fonte: Autora

Inicialmente, solicita-se do usuário os dados de entrada. A partir dessas informações o programa executa o dimensionamento, iniciando pela excentricidade. Após determinar o grau da excentricidade, é determinado as características dos chumbadores. Após a confirmação do diâmetro do chumbador e da sua quantidade, o aplicativo dimensiona a placa de base considerando o estado limite último de esmagamento do concreto e as dimensões mínimas de afastamento entre chumbadores e entre chumbadores e borda da placa, a espessura da placa de base em função do limite de escoamento do aço e a espessura do filete de solda pelo limite de ruptura do metal da solda. As formulações estão apresentadas anteriormente no escopo deste trabalho.

### 3.8 Comparativo do programa com as referências

Para validar os resultados do aplicativo desenvolvido, foram utilizados exemplos da literatura. O primeiro teste foi realizado com o exemplo numérico proposto por PIMENTA, Roberval; et al (2010).

Exemplo 01 - Base retangular ( $f_y = 350\text{Mpa}$ ) para apoio de pilar retangular ( $400 \times 200 \times 6.3\text{mm}$ ),  $N_{sd} = 300\text{kN}$  (compressão),  $V_{sd} = 180\text{kN}$ ,  $M_{sd} = 19500\text{kN.cm}$ ,  $F_{ck} = 20\text{Mpa}$ , seis chumbadores de  $\varnothing 1.1/4''$  comprimento ( $f_y = 250\text{Mpa}$ ). Os resultados estão registrados na tabela 07.

	PIMENTA, Roberval; et al (2010)	Programa utilizando NBR 8800:2008	Programa utilizando Design Guides 2
lx	660mm	580mm	660mm
ly	390mm	405mm	390mm
m	140mm	102mm	140mm
n	100mm	109,5mm	100mm
$\sigma_c, R_d$	10,2	10,2	10,2
elim	292,3mm	253,70mm	293mm
Caso	Compressão – Caso 03	Compressão – Caso 03	Compressão – Caso 03
lc	139,7mm	139,5mm	130,16mm
$tp_{min1}$	35,4mm	27,93mm	35,62mm
$tp_{min2}$	23mm	22,08mm	23,12mm
Chapa final	37,5mm	31,7mm	37,5mm
Diâmetro mínimo chumbador	17,7mm	20,23mm	17,97mm
Vrd	285kN	317kN	284,9kN

Tabela 07 – Comparativos entre os dimensionamentos

Fonte: Autora

Exemplo 02 – Dados: base circular ( $f_y=350\text{Mpa}$ ) para apoio de pilar circular de diâmetro 350mm. Sujeita aos seguintes esforços solicitantes de cálculo:  $N_{sd} = 200\text{kN}$  de compressão,  $M_{sd} = 160000\text{kN.cm}$ ,  $V_{sd} = 300\text{kN}$ ,  $f_{ck} = 20\text{Mpa}$  e 8 chumbadores de diâmetro de 1". Os resultados obtidos estão registrados na tabela 08.

	PIMENTA, Roberval; et al (2010)	Programa utilizando NBR 8800:2008	Programa utilizando Design Guides 2
ld	550mm	478mm	550mm
lx	495mm	430mm	495mm
m	107,5mm	75,1mm	107,5mm
elim	227,7mm	198,3mm	227,7mm
Caso	Compressão - Caso 3	Compressão - Caso 3	Compressão - Caso 3
lc	95,6mm	128,26mm	95,56mm
<i>tpmin1</i>	27,2mm	19,15mm	27,42mm
<i>tpmin2</i>	24,7mm	26,85mm	24,72mm
Chapa final	31,5mm	31,5mm	31,5mm
Diâmetro mínimo chumbador	22,5mm	25,4mm	22,5mm
Vrd	265kN	309,53kN	625mm

Tabela 08 – Comparativos entre os dimensionamentos

Fonte: Autora

A partir dos resultados apresentados observa-se que quanto verificado aos espaçamentos do Design Guides 2 os exemplos apresentados pelo autor oferecem resultados coincidentes. Entretanto, ao analisar o comparativo com a NBR 8800:2008, existem uma divergência significativa, pois os cálculos executados pelo programa, foram elaborados segundo PIMENTA, Roberval; et al (2010) como um modelo de cálculo que pressupõe que as placas de base são grande rigidez, de forma a simular que a pressão do concreto possa ser considerada aproximadamente uniforme, a partir da face externa da placa. Essa condição induz ao

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

dimensionamento de seções com grande espessura de placa de base, principalmente em casos de compressão 03, o que justifica a diferença significativa entre as espessuras do segundo exemplo. Quando se trata de aspectos executivos e de projeto, esse fator é favorável, uma vez que as bases são consideradas rígidas na análise estrutural.

#### 4. CONCLUSÃO

Neste estudo, foi implementado um programa de dimensionamento de bases de pilares metálicos em seções de tubo. O estudo, seguindo as orientações de Fisher e Kloiber (2006), demonstra através dos resultados obtidos, que o aplicativo desenvolvido apresenta dimensionamentos de placas de base, onde a resistência a esforços cortantes e normal, são superiores as solicitações de projeto, demonstrando sua aplicabilidade na construção das estruturas metálicas. O usuário do programa pode recusar os valores das dimensões sugeridos e utilizar outros, desde que estes sejam maiores que os calculados.

As diferenças entre os resultados do software e da bibliografia, são justificadas devido a diferenças dos espaçamentos mínimos entre as normas brasileiras e americanas, contudo, não inviabiliza o seu uso. Mas, caso o usuário deseje verificar com as normas internacionais, existe a possibilidade de escolha. Espera-se, em uma sequência desse trabalho, implementar ensaios para analisar em laboratórios os resultados, avaliar através do método dos elementos finitos, otimizar o software atribuindo dimensionamentos de chapas de cisalhamento e testar o aplicativo a novos exemplos de cálculo, buscando metodologias para obter valores de resistências da ligação mais próximos das solicitações de projeto.

#### AGRADECIMENTOS

As minhas influências profissionais são a maior fonte de inspiração, motivação e exemplo do que quero ser como engenheira e como pessoa. Meu total agradecimento a Vinícius Oliveira, Igor Araújo, Rodrigo Matos e a toda equipe da Pengec por todo incentivo e horas dedicadas a me ensinarem a amar minha profissão através de muita informação técnica e ética. A meu orientador Isamu Junior, por apoiar meu estudo, dedicar sua paciência e compartilhar toda sua sabedoria. Ao Senhor Roberval José Pimenta e colaboradores que desenvolveram e publicaram artigo referência para esse estudo. A divulgação do conteúdo foi muito importante não somente para o desenvolvimento deste artigo, mas como inspiração de pesquisa.

#### REFERÊNCIAS

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 6120 - Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. ABNT. 2014. Rio de Janeiro. Brasil.
- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 8800 - Projeto e execução de estruturas de aço. ABNT. 2008. Rio de Janeiro. Brasil.

---

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

- 3 J.M. Kloiber, L.A. “Base Plate and Anchor Rod Design” – AISC Design Guide 1, 2ª Ed., 2006, Chicago, Illinois, Estados Unidos da América.
- 4 PIMENTA, Roberval José et al – Ligações de apoio de pilares em perfil tubular. CONSTRUMETAL 2010 – CONGRESSO LATINO AMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA.
- 5 EUROPEAN STANDARD NORME EUROPÉENNE, EM 1993-1-8. Eurocode 3 Desing of steel Structures – Part 1-8: Desing of Joints. 2005.
- 6 CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. Vantagens das estruturas metálicas. Disponível em: <http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-vantagens.php>. Acesso em 03 nov. 2014.Brasil.
- 7 MEYER, Karl Fritz. Estruturas com tubos: projeto e introdução ao cálculo. Belo Horizonte. KM Engenharia. 2002.
- 8 PFEIL, Walter e PFEIL, Michèle. Estruturas de Aço – Dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008. 8ª Edição Editora LTC. 2013.
- 9 VASCONCELLOS, Alexandre Luiz. Manual da construção em aço – Ligações em estruturas metálicas – Volume 1. Instituto Aço Brasil, Centro Brasileiro da Construção em Aço. Rio de Janeiro 2011.
- 10 PRAVIA, Zacarias M. Chmberlain et al – Cálculo de Ligações em Estruturas metálicas. 2012.